

## SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉCTRICA

João L. Afonso<sup>\*1</sup>, Renato Alves<sup>1</sup>, José Batista<sup>2</sup>, Domingos Gonçalves<sup>1</sup>, Gabriel Pinto<sup>1</sup> e Carlos Couto<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade do Minho, Depart. Electrónica Industrial - Guimarães, Portugal

<sup>2</sup> Instituto Politécnico de Bragança - ESTiG - Bragança, Portugal

*\*Email: jla@dei.uminho.pt*

### RESUMO

Este artigo descreve o desenvolvimento de um Sistema de Monitorização de Energia Eléctrica de baixo custo baseado num PC (computador pessoal) [1, 2]. O equipamento é constituído por quatro sensores de corrente com bobinas de Rogowski, quatro sensores de tensão baseados no efeito Hall com controlo em malha fechada, uma placa de condicionamento e um PC. O software é baseado em *LabView* e apresenta várias aplicações desenvolvidas, das quais destacam-se: “Aplicação para Determinação de Problemas de Qualidade de Energia” [1], “Aplicação Osciloscópio e Distorção Harmónica”, “Aplicação Fasores e Grandezas Clássicas”, Aplicação Teoria p-q” e “Aplicação Visualização de Dados e Geração de Relatórios”. A utilização de um PC permite, para além de uma grande flexibilidade do sistema, e de uma interface amigável com o utilizador, também a possibilidade de recorrer a recursos provenientes de ferramentas de Internet, como é o caso do acesso remoto. Este artigo descreve ainda a integração deste sistema de monitorização a Filtros Activos de Potência do tipo Paralelo, também desenvolvidos na Universidade do Minho.

### INTRODUÇÃO

Devido ao grande crescimento da utilização de cargas não lineares nos sistemas eléctricos a rede eléctrica começou a sofrer uma crescente deterioração das formas de onda da tensão e da corrente [1] [2]. Por esse motivo surge um novo termo no âmbito da energia eléctrica que é Qualidade da Energia Eléctrica (QEE). Geralmente, este termo é aplicado a uma grande variedade de fenómenos electromagnéticos que ocorrem nos sistemas eléctricos. Surgem então algumas definições de QEE, uma definição para QEE é: “qualquer problema manifestado na tensão, corrente ou variação da frequência, que resulte numa falha ou mau funcionamento em equipamentos do utilizador” [3]. Outra definição simples é: “A qualidade da energia é um conjunto de limites (das grandezas eléctricas) que permitem que determinado equipamento funcione de forma correcta, sem perdas significativas do seu desempenho ou do seu tempo de vida esperado” [4].

A QEE é hoje em dia um parâmetro muito importante na implementação de um sistema eléctrico porque os equipamentos eléctricos cada vez mais incorporam elementos electrónicos que se por um lado introduzem distorções na rede por outro também requerem parâmetros de energia eléctrica cada vez mais apertados podendo uma pequena deterioração desses mesmos parâmetros ser o suficiente para o não funcionamento ou em casos mais extremos provocar a avaria desses equipamentos. Por esses motivos apareceram em torno da QEE grandes interesses científicos, económicos e sociais. Impulsionada pelos interesses económicos, visto que uma pequena falha de QEE poderá significar milhares de euros de prejuízos, a investigação em torno da QEE ganhou grande importância nas empresas fabricantes de equipamentos de medições eléctricas.

Existem normas internacionais relativas ao consumo de energia eléctrica, tais como IEEE 519, IEC 61000 e EN 50160, que limitam o nível de distorção harmónica nas tensões com os quais os sistemas eléctricos podem operar, e impõem que os novos equipamentos não introduzam na rede harmónicos de corrente de amplitude superior a determinados valores [5]. A norma IEEE 1159 classifica fenómenos electromagnéticos que afectam a qualidade da energia eléctrica. A norma EN 50160 já foi adoptada por vários países europeus. Esta norma estabelece as principais características, no ponto de entrega ao cliente, da tensão de alimentação por uma rede de distribuição pública em baixa ou média tensão, em condições de exploração normais.

## DESCRIÇÃO DO HARDWARE

O Monitorizador de Energia Eléctrica é um equipamento que tem sido desenvolvido no Laboratório de Electrónica de Potência do Departamento de Electrónica Industrial, e que faz parte do projecto SINUS. Este equipamento, como o seu nome indica, é capaz de analisar a qualidade da energia de um determinado sistema eléctrico e também de registar e classificar alguns dos problemas detectados. O Monitorizador foi desenvolvido com base num PC, pretendendo assim tornar-se num equipamento de baixo custo, comparativamente, com outros equipamentos do mesmo tipo já existentes no mercado [6] [7]. Foram desenvolvidas duas versões deste equipamento: uma versão à qual designamos Monitorizador Independente, que é a tradicional usada nas medições dos quadros eléctricos, e outra versão foi desenvolvida com base na anterior e destina-se a ser integrada nos Filtros Activos Paralelos desenvolvidos na Universidade do Minho que designamos de Monitorizador Integrado.

Em termos de hardware, o Monitorizador Independente é constituído por: quatro sensores de tensão e quatro sensores de corrente, uma placa de condicionamento de sinal, carta de aquisição de dados, e um computador. O Monitorizador Integrado aproveita as medições das tensões e das correntes disponibilizadas pelo Filtro Activo não precisando desta forma dos sensores nem da placa de condicionamento. O Monitorizador Integrado tem mais três sensores de corrente extra que permite fazer a medição das correntes da fonte. Na Fig. 1 é apresentado um diagrama de blocos onde é possível visualizar os componentes do Monitorizador bem como as suas ligações internas e as ligações deste a um sistema eléctrico.

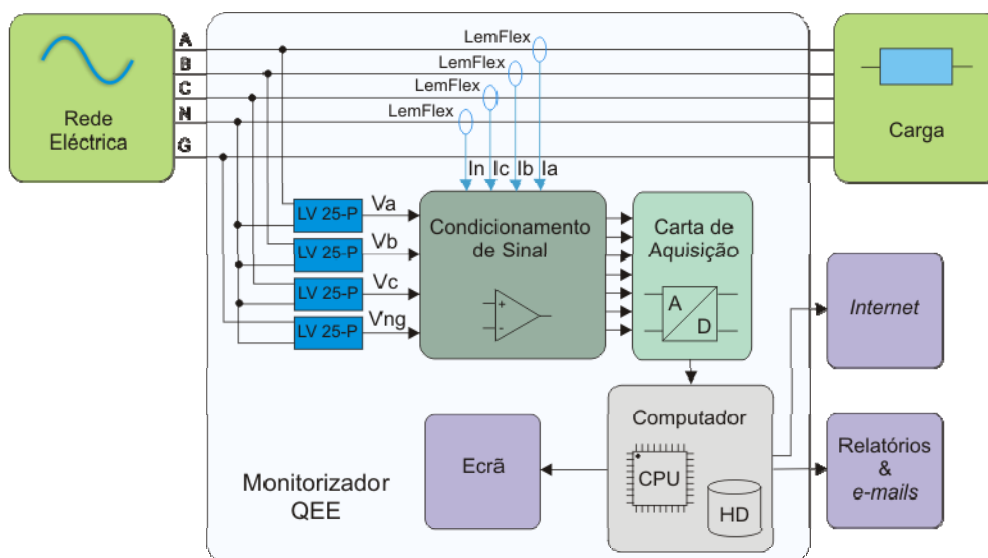


Figura 1- Diagrama de blocos do Monitorizador de Energia Eléctrica Independente.

Os sensores de tensão utilizados no Monitorizador são da LEM, (modelo LV 25-P), cujo aspecto pode ser visto na Fig. 2(a). Estes sensores permitem a medição de tensões contínuas ou alternadas até 50 kHz, com um valor eficaz não superior a 500 V. O seu funcionamento é baseado no efeito Hall, com controlo em malha fechada. Estes sensores garantem o isolamento eléctrico entre o lado de alta tensão (primário) e o lado de medida (secundário).

Os sensores de corrente utilizados são também da LEM, modelo LemFlex RR3020, cujo aspecto pode ser visto na Fig. 2(b). Estes sensores apenas medem correntes alternadas (CA) com frequências desde 10 Hz a 20 kHz. As três escalas que o sensor possui permitem medir correntes com valor eficaz até 3000 A. O seu funcionamento é baseado no efeito Rogowsky. Não é necessário interromper o circuito para montar os sensores porque têm um ponto de aberturapróprio, bastando assim coloca-los á volta do condutor onde se pretende fazer a medição. O facto de serem flexíveis também facilita a sua instalação. Na Fig. 2 as duas imagens estão em escalas diferentes.



Figura 2- Sensores do Monitorizador: (a) tensão LV 25-P e (b) corrente LemFlex RR2030.

A placa de Condicionamento de Sinal do Monitorizador (Fig. 3) é responsável por adaptar, em nível tensão, os sinais provenientes dos sensores, para que estes possam ser lidos adequadamente pela Carta de Aquisição. Esta placa é também responsável por garantir a alimentação dos sensores de corrente e de tensão do equipamento.

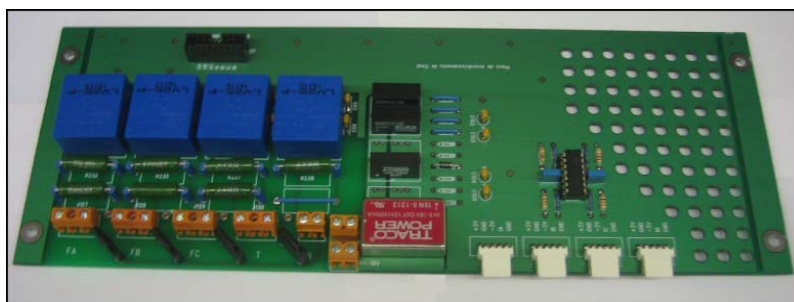


Figura 3- Placa de Condicionamento de Sinal do Sistema de Monitorização.

A Carta de Aquisição utilizada no Monitorizador é da *National Instruments*, modelo NI PCI-6220, esta carta possui 16 entradas analógicas (8 em modo diferencial) e 24 entradas/saídas digitais. No Monitorizador Independente são utilizadas 8 entradas analógicas enquanto no Monitorizador Integrado são utilizadas 11 entradas analógicas.

O computador é constituído por uma *motherboard* EPIA mini PC, modelo MII 12000, equipada com um processador de 1,2 GHz. Para armazenar o *Software* e os dados recolhidos nas monitorizações é utilizado um disco rígido de 80 GB, o que dá ao monitorizador uma capacidade de armazenamento muito superior à dos sistemas comerciais actuais.

Na Fig. 4(a) pode-se ver o Sistema de Monitorização Independente desenvolvido, em mala de transporte. Na Fig. 4(b) observa-se apenas a caixa do Sistema de Monitorização, onde estão o PC, a Carta de Aquisição, a Placa de Condicionamento de Sinais e os Sensores de Tensão, sendo que esta versão tem sido integrada em Filtros Activos de Potência Paralelos.

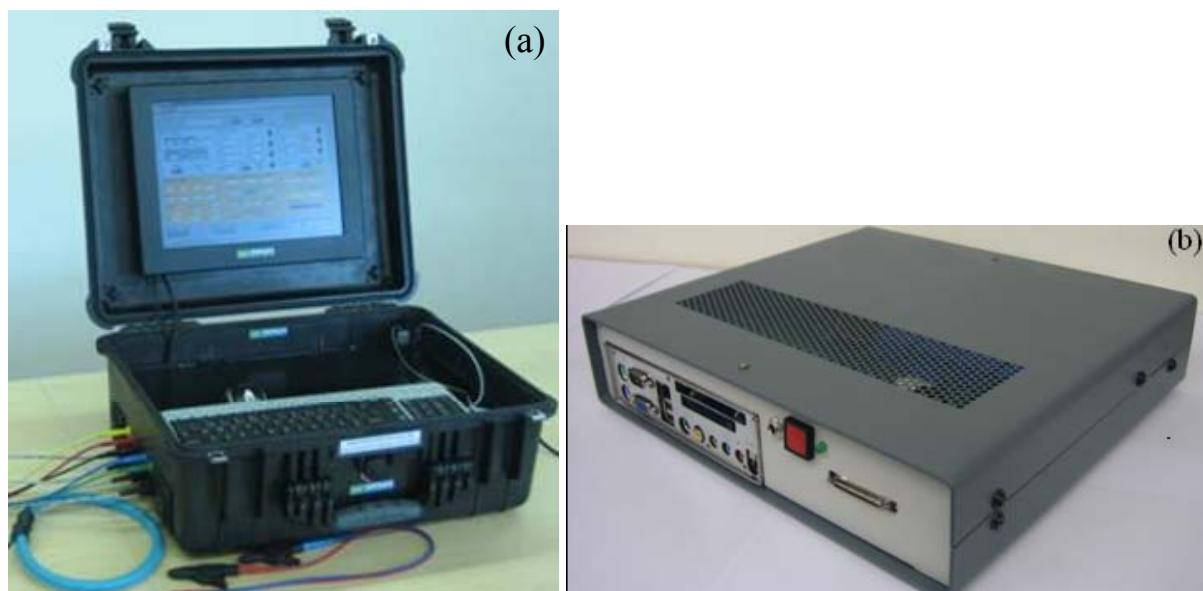


Figura 4- Monitorizador de Energia Eléctrica: (a) Monitorizador Independente, (b) Monitorizador a ser Integrado num Filtro Activo Paralelo.

## DESCRIÇÃO DO SOFTWARE

O software do sistema de monitorização é constituído por várias aplicações e é baseado em LabView. As aplicações desenvolvidas permitem, entre outras funcionalidades, o equipamento funcionar como osciloscópio digital, analisar conteúdos harmónicos, detectar e registar distúrbios nas tensões (*sags*, *swells*, interrupções, sobretensões, subtensões), medir energias, potências, desequilíbrios e factores de potência, registar e visualizar *strip charts*, registar grande número de dados em disco e gerar relatórios [8].

### A. Aplicação “Scope e THD”

Esta aplicação funciona como um osciloscópio digital contendo as suas principais funções básicas: base de tempo, escala vertical, *trigger*, frequência dos sinais, valores *True RMS*, valor DC, valor de pico a pico, etc. Outra funcionalidade desta aplicação é o cálculo e visualização da THD (*Total Harmonic Distortion*), incluindo as componentes harmónicas até à 100 do sinal (amplitude, frequência e fase). O aspecto do interface da aplicação “Scope e THD” pode ser visualizado na Fig. 5.

### B. Aplicação “EventosPQ”

A aplicação “EventosPQ” executa, em modo contínuo, a aquisição de 4 sinais de tensão ( $V_{an}$ ,  $V_{bn}$ ,  $V_{cn}$  e  $V_{ng}$ ) e 4 sinais de corrente ( $I_a$ ,  $I_b$ ,  $I_c$  e  $I_n$ ). Com a aquisição dos sinais são calculados: valores eficazes (RMS), THD, desequilíbrios, factor de potência, potências (parente, reactiva e activa) e energias (aparente, reactiva e activa) [8] [6]. Esses valores calculados vão sendo guardados em ficheiros que depois ajudarão no estudo da QEE na instalação que foi sujeita à monitorização. Esta aplicação também permite detectar deformações na forma de onda das tensões “Wave Shape” e caso se verifique essa anomalia são guardados 6 ciclos da rede incluindo o ciclo onde foi detectada a deformação bem como a data e a hora dessa ocorrência.

A aplicação também detecta subtensões (*sag*) e sobretensões (*swell*) registando o valor RMS da tensão na fase em que se deu a falha bem como a data e a hora do acontecimento. Outra funcionalidade disponível nesta aplicação é a possibilidade de guardar a forma de onda dos sinais num determinado instante definido pelo utilizador. Os períodos de monitorização do sistema eléctrico podem ser programados de 1 minuto a 30 dias. No final das sessões, o sistema envia automaticamente, caso seja activada a funcionalidade, os dados via e-mail para vários destinatários. Na Fig. 6 pode-se visualizar o aspecto do interface da aplicação EventosPQ.

### C. Aplicação “Relatórios”

A aplicação “Relatórios” permite visualizar sobre a forma de tabelas e gráficos as informações adquiridas pela aplicação EventosPQ, permitindo também gerar relatórios em formatos HTML ou Word destas informações. Esta aplicação é uma importante ajuda na análise dos dados registados durante as monitorizações que de outra forma seria muito mais trabalhoso e mais susceptível a erros de análise. Na Fig. 7 pode-se ver o interface da aplicação “Relatórios”.

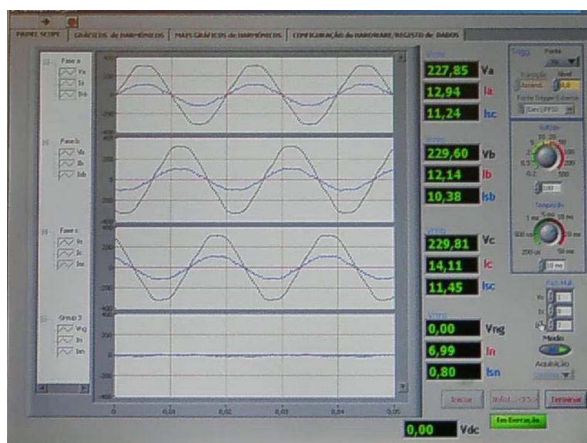


Figura 5- Interface da aplicação “Scope e THD”.

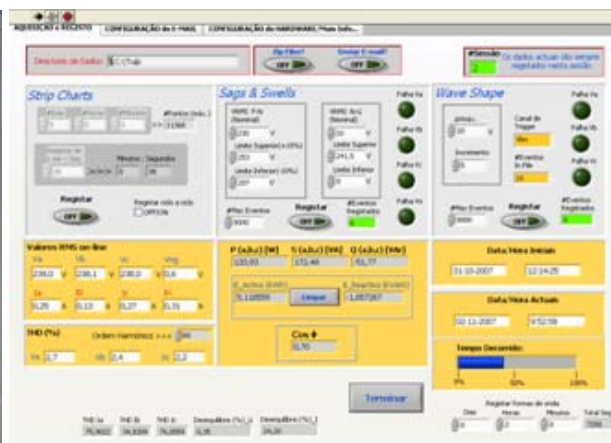


Figura 6- Interface da aplicação “EventosPQ”.

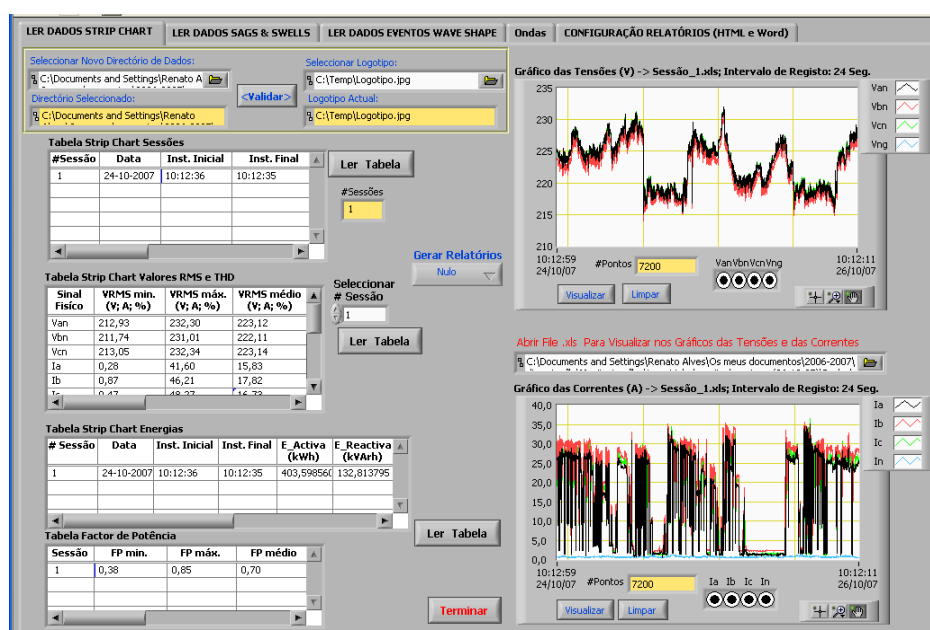


Figura 7- Interface da aplicação “Relatórios”.

#### **D. Aplicação “Config”**

A aplicação “Config” tem como finalidade configurar o factor de ganho e *offset* de todos os sinais de medição. Estas configurações têm que ser feitas para cada módulo de hardware por causa das tolerâncias dos componentes. Nesta aplicação é possível ver-se a forma de onda, os valores eficazes e o *offset* dos sinais. Os novos factores de ganho e offset são guardados num ficheiro (.txt) que depois será utilizado por todas as aplicações do Monitorizador.

#### **E. Aplicação “Grandezas Clássicas”**

Esta aplicação permite visualizar os fasores das tensões e correntes, os valores *True RMS*, desfasamentos, impedâncias (por fase), desequilíbrios de tensão e corrente, factor de potência total e de deslocamento. Também são calculadas as potências e as energias consumidas pelo sistema. Uma funcionalidade desta aplicação é a possibilidade desta funcionar em dois modos distintos: modo “Simulação” e modo “Aquisição”. No modo “Aquisição” todos os cálculos são baseados nos sinais medidos pelos sensores do Monitorizador enquanto no modo de “Aquisição” todas as grandezas do sistema são calculados com base em sinais gerados pelo LabView. Estes sinais gerados pelo LabView podem ser configurados pelo utilizador nos seguintes parâmetros: amplitude, frequência e fase, podendo ser introduzidas componentes harmónicas pretendidas para cada sinal.

#### **F. Aplicação “Teoria p-q”**

Nesta aplicação são calculados e apresentados os valores resultantes dos cálculos da teoria p-q (Teoria da potência instantânea), podendo ser útil na análise de sistemas trifásicos com problemas de QEE. Também são calculados os valores do sistema eléctrico com a aplicação de um filtro activo paralelo. O *software* implementa em termos de simulação todos os cálculos envolvidos no controlo do filtro activo e permite visualizar simultaneamente todos os sinais em causa. Podem ser vistos até 34 sinais em simultâneo, divididos em dois gráficos [9]. Esta aplicação possui dois modos distintos de funcionamento: modo “Aquisição” e modo “Simulação” funcionando como no caso da aplicação “Grandezas Clássicas”. No modo “Simulação ” pode-se configurar os mesmos parâmetros dos sinais referidos na aplicação “Grandezas Clássicas”.

### **CONCLUSÕES**

A plataforma apresentada neste artigo é uma boa solução para se implementar um Sistema de Monitorização de Energia Eléctrica, visto ter um custo reduzido e mesmo assim apresentar bons desempenhos e resultados fiáveis. A utilização de um PC permite uma grande versatilidade do sistema aliando-se a esse facto a possibilidade de utilizar a internet e as suas potenciais ferramentas. Neste sistema de monitorização recorreu-se a um dispositivo sem fios 3G que nos permite fazer acesso remoto ao Monitorizador, podendo desta forma fazer-se um acompanhamento das monitorizações mais eficaz. Outra mais-valia na utilização de um PC é a grande flexibilidade que este permite. Um bom exemplo disso é a possibilidade de se alterar rotinas de processamento sem ter que se alterar toda a estrutura. Este sistema de monitorização foi também integrado em Filtros Activos de Potência do Tipo Paralelo (Fig. 8).

### **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem ao PRIME (Programa de Incentivos à Modernização da Economia) e à ADI (Agência de Inovação) pelo financiamento do projecto SINUS, e à FCT (Fundação para a Ciência e a Tecnologia) pelo financiamento do projecto POCTI/ESSE/48242/2002.





Figura 8- Filtros Activos de Potência do Tipo Paralelo com Sistemas de Monitorização Integrados.

## REFERÊNCIAS

- [1] J. L. Afonso, J. S. Martins; Qualidade de Energia Eléctrica; Ciclo de Seminários – As Oportunidades das Ameaças: A Qualidade da Energia Eléctrica, EUVEO, 2003; [https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/1499/1/Seminario\\_EUVEO.pdf](https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/1499/1/Seminario_EUVEO.pdf)
- [2] J. L. Afonso, J. S. Martins; Qualidade da Energia Eléctrica; Publicação da “Robótica”; 4º trimestre de 2005; [https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/4253/1/Robotica-05\\_QEE.pdf](https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/4253/1/Robotica-05_QEE.pdf)
- [3] Roger C. Dugan, Mark F. MacGranaghan, H. Wayne Beaty; - “Electrical Power Systems Quality”, New York: MacGraw – Hill; 1996.
- [4] C. Sankaran; “Power Quality”; CRC Press LLC; 2002
- [5] J. Batista, J. S. Martins, J. L. Afonso; “Low-Cost Digital System for Power Quality Monitoring”; ICREPQ’03 – International Conference on Renewable Energies and Power Quality; Vigo, Espanha; Abril de 2003; [https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/1771/1/ICREPQ-03\\_JB.pdf](https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/1771/1/ICREPQ-03_JB.pdf).
- [6] J. Batista, J. S. Martins, J. L. Afonso, LabVIEW Monitoriza a Qualidade da Energia Eléctrica Sistema de Monitorização da Qualidade da Energia Eléctrica Baseado em PC; National Instruments – Portugal – publicação *online*; <https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/1495/1/NI-05.pdf>
- [7] J. Batista, J. S. Martins, J. L. Afonso, “Low-Cost Power Quality Monitor Based on a PC”, ISIE’2003 - IEEE International Symposium on Industrial Electronics, R.J., Brasil, Jun 2003; [https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/1777/1/8CLEEE\\_JB.pdf](https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/1777/1/8CLEEE_JB.pdf)
- [8] José Batista; Sistema de Monitorização da Qualidade da Energia Eléctrica Baseada em PC; Tese de Mestrado; Universidade do Minho; 2004.
- [9] J. Batista, J. S. Martins, J. L. Afonso, Sistema de Monitorização da Qualidade da Energia Eléctrica Baseado em PC; 8º Congresso Luso-Espanhol de Engenharia Electrotécnica; Vilamoura, Algarve, Portugal; 3-5 Julho de 2003; [https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/1777/1/8CLEEE\\_JB.pdf](https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/1777/1/8CLEEE_JB.pdf)